

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБЖИГЕ СИДЕРИТОВОЙ РУДЫ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РАСХОД ТОПЛИВА

Аннотация

Процесс обжига сидеритовой руды в шахтных печах сопровождается сложным комплексом физико-химических процессов, связанных с разложением карбонатов, окислением оксидов, образованием новых химических соединений и другими. Для оптимизации режимных параметров процесса обжига в шахтных печах и составлении тепловых балансов, позволяющих обосновано определять расход природного газа, прежде всего необходимо учитывать теплоту, затраченную на разложение карбонатов. С этой целью был проведен расчет удельной теплоты разложения карбонатов с использованием соотношений химической термодинамики, учетом теплоты образования веществ, участвующих в реакции, и результатов гравиметрических исследований. Изучено влияние вещественного состава исходной сидеритовой руды на показатели процесса обжига. Установлено, что при работе печи на руде достаточно хорошего качества приход теплоты от реакций окисления оксидов железа и марганца практически полностью компенсирует расход теплоты на разложение карбонатов. В этом случае теплота от сгорания топлива тратится в основном на компенсацию тепловых потерь с уходящими газами, охлаждающим воздухом, обожженным продуктом и в окружающую среду. Определен общий тепловой эффект от реакций разложения карбонатов и окисления оксидов, а также эквивалентный расход газа на тонну обожженной руды. Полученные в работе результаты позволяют определить оптимальный расход топлива на обжиг сидеритовой руды в шахтных печах и получать обожженный продукт с достаточно высокими металлургическими свойствами. Даны рекомендации по повышению технико-экономических показателей процесса обжига.

Ключевые слова: сидеритовая руда, обжиг, карбонаты, оксиды, шахтная печь, тепловой баланс, вещественный состав, удельная теплота разложения, природный газ.

Abstract

The process of roasting siderite ore in shaft furnace is accompanied by a complex set of physical and chemical processes associated with the decomposition of carbonates, oxides, oxidation, formation of new chemical compounds and others. To optimize the regime parameters of burning process in shaft furnace, determine the consumption of natural gas and calculate heat balance, firstly it is necessary to consider the heat, spent on the expansion of the carbonates. For this purpose, we calculated specific heat decomposition of carbonates using chemical thermodynamics ratios, considering the heat of formation of substances involved in the reaction and gravimetric studies. The influence of the material composition of the initial indicators of siderite ore roasting process is studied. It is established that when the furnace is operating on the ore of good quality the heat coming from oxidation reactions of iron and manganese oxides almost completely compensates for the heat flow from the decomposition of carbonates. In this case the heat from the combustion mainly spent to compensate the heat loss from the exhaust gases, the cooling air, the calcined product and to the environment. The total thermal effect of the decomposition reaction of oxidation of carbonates and oxides is detected, as well as the equivalent gas flow rate per ton of roasted ore. The results obtained in the work allow us to determine the optimum fuel consumption for siderite ore roasting in shaft furnace and to get calcined product with sufficiently high metallurgical prop-

erties. The recommendations to improve the technical and economic indicators of the firing process are given.

Keywords: siderite ore, roasting, carbonates, oxides, shaft furnace, heat balance, material composition, specific heat of decomposition, natural gas.

Бакальскую сидеритовую руду подвергают окислительному обжигу в шахтных печах с целью удаления из нее диоксида углерода, выделяющегося при разложении карбонатов, и повышения содержания в ней железа [1]. Наряду с процессами декарбонизации в руде при нагреве происходит окисление оксидов железа и марганца, сопровождаемое выделением теплоты. При определении обоснованного расхода природного газа на процесс обжига и для составления теплового баланса в первую очередь необходимо учитывать теплоту, затраченную на разложение карбонатов железа, магния, марганца и кальция, которая составляет значительную величину. Следовательно, необходимо иметь данные по удельной теплоте разложения карбонатов. Кроме того, в руде, поступающей на обжиг, наблюдаются значительные колебания вещественного состава, что требует корректировки режимных параметров и различных расходов топлива, которые можно определить только при составлении тепловых балансов работающей печи. Поэтому цель данной работы состояла в определении удельной теплоты разложения карбонатов, в оценке влияния изменяющегося вещественного состава исходной руды на показатели процесса обжига, получение исходных данных для составления теплового баланса работающей печи.

Расчет удельной теплоты разложения карбонатов был выполнен применительно к сидеритовой руде следующего состава, %: 36,28 Fe_{общ}; 45,51 FeO; 1,30 Fe₂O₃; 1,29 MnO; 1,10 SiO₂; 0,80 CaO; 9,50 MgO; 0,56 Al₂O₃; 0,01 P; 0,25 S; 39,68 ПМПП. Для расчета были использованы соотношения химической термодинамики [2] и данные, приведенные в работе [3]. Тепловой эффект реакции при T = 298 К определяли из уравнения:

$$Q_{298} = \sum (\nu Q_{298})_K - \sum (\nu Q_{298})_H, \quad (1)$$

где Q_{298} – мольные тепловые эффекты образования конечных (K) и начальных (H) соединений реакции, кДж/моль.

Получено: $Q_{298}(\text{FeCO}_3) = -90,49$; $Q_{298}(\text{MgCO}_3) = -101,46$; $Q_{298}(\text{MnCO}_3) = -116,52$; $Q_{298}(\text{FeCO}_3) = -177,39$.

Тепловой эффект реакции при температуре T находили из уравнения:

$$Q_T = Q_{298} + \int_{298}^T \Delta C(T) dT, \quad (2)$$

где $\Delta C(T) = \sum (\nu C_p)_K - \sum (\nu C_p)_H$; C_p – мольная теплоемкость конечного (K) и начального (H) соединения в функции от температуры T, кДж/(моль·К).

Найдено (кДж/моль): $Q_{\text{FeCO}_3(823)} = -84,83$; $Q_{\text{MgCO}_3(923)} = -91,78$; $Q_{\text{MnCO}_3(642)} = -113,86$; $Q_{\text{CaCO}_3(1183)} = -165,04$.

Определено содержание в руде карбонатов, %: FeCO₃ = 73,39; MgCO₃ = 19,87; MnCO₃ = 2,09; CaCO₃ = 1,43.

Найдены удельные теплоты разложения карбонатов (кДж/кг): $q_{\text{FeCO}_3} = -732,25$; $q_{\text{MgCO}_3} = -1088,56$; $q_{\text{MnCO}_3} = -990,55$; $q_{\text{CaCO}_3} = -1648,95$.

Эквивалентная теплота разложения q, кДж/кг, зависящая от содержания карбонатов в руде, оказалась равной -797,98 кДж/кг.

Влияние химического состава исходной сидеритовой руды на показатели процесса обжига изучали для химического состава проб, отобранных в различные периоды испытаний (табл. 1).

Результаты расчетов расхода теплоты на процесс с учетом термохимических превращений и эквивалентного расхода природного газа приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расход теплоты на процесс декарбонизации сидеритовых руд различного химического состава с учетом реакций окисления

Наименование	Размерность	Сидеритовые руды в различные периоды исследований				
		1	2	3	4	Среднее за периоды
Расход теплоты на разложение карбонатов	МДж на 100 кг исходной руды					
FeCO ₃		- 49,25	- 47,49	- 45,98	- 42,83	- 45,85
MgCO ₃		- 22,15	- 24,92	- 27,55	- 27,18	- 23,79
CaCO ₃		- 6,33	- 11,40	- 6,81	- 19,30	- 10,85
MnCO ₃		- 1,97	- 1,97	- 1,97	- 1,97	- 2,02
Приход теплоты от реакций окисления	МДж на 100 кг исходной руды					
FeO		+ 80,00	+ 77,13	+ 74,68	+ 69,56	+ 74,47
MnO		+ 1,61	+ 1,61	+ 1,61	+ 1,61	+ 1,65
Общий тепловой эффект от реакции разложения и окисления	МДж на 100 кг исходной руды	+ 1,91	- 7,04	- 6,02	- 20,11	- 6,39
Эквивалентный расход на 1 т обожженной руды	м ³	- 1,04	3,85	3,29	10,99	3,49

Из таблицы следует, что при высоком содержании в руде монооксида железа (период испытаний 1) количества выделившейся теплоты вполне достаточно, чтобы компенсировать затраты теплоты на разложение карбонатов. Расчетами установлено, что при увеличении содержания FeO в исходной руде на 1 % расход природного газа снижается на 0,40 м³/т обожженной руды. Увеличение содержания CaO в руде на 1% увеличивает расход природного газа на 1,75 м³/т обожженной руды. Возрастание в руде содержания NgO на 1 % повышает расход природного газа на 1,40 м³/т.

Таблица 1

Химический состав проб сидеритовой руды, пересчитанный
на содержание в них карбонатов

Наименование компонентов сидеритовой руды	Периоды испытаний				
	1	2	3	4	Среднее за периоды
FeCO ₃	63,05	60,80	58,86	54,83	58,70
Fe ₂ CO ₃	3,97	2,00	4,70	2,65	2,80
CaCO ₃	3,57	6,43	3,84	10,89	6,12
SiO ₂	6,50	5,90	4,81	5,00	8,11
MgCO ₃	18,41	20,71	22,89	22,59	19,77
MnCO ₃	1,94	1,94	1,94	1,94	1,99
Al ₂ O ₃	2,46	2,03	2,80	1,93	2,35
S	0,10	0,19	0,16	0,17	0,16

Следовательно, для стабильной работы шахтных печей необходимо производить усреднение исходной сидеритовой руды перед обжигом.

Список использованных источников

1. Юрьев Б.П., Меламуд С.Г., Спирин Н.А. Исследование кинетики диссоциации бакальских сидеритовых руд // Известия вузов. Черная металлургия, 2012. № 10. – С. 12–14.
2. Салем Р.Р. Физическая химия. Термодинамика. – М.: Физматлит, 2004. – 352 с.
3. Кипер Р.А. Физико-химические свойства веществ: справочник по химии. – Хабаровск: Прондо, 2013. – 1016 с.

УДК 621.746.584

Ю. Г. Ярошенко¹, Ю. И. Липунов², А. Б. Смаханов¹

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург,

² ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» – ОАО «ВНИИМТ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОДО-ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОЛЕЦ

Аннотация

В статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса охлаждения стальных колец водо-воздушной смесью, которые были получены на экспериментальной установке опытного стенда ОАО «ВНИИМТ». Исследования проведены для широкого диапазона изменения параметров водо-воздушной смеси, что позволило изучить зависимости теплового состояния колец различной толщины от параметров режима охлажде-